

Microestructura y propiedades de capas de tribaloy T-800 depositadas mediante plaqueado láser

C. NAVAS¹, M. CADENAS², J.M. CUETOS², L. VEGA³ Y J. DE DAMBORENEA¹

¹Departamento de Corrosión. Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM/CSIC), 28040 Madrid, España

² Área de Ingeniería Mecánica. Universidad de Oviedo. Sede Dptal. Oeste, edificio 5. Campus Universitario s/n. 33203 Gijón (España);

³ Área de Ingeniería Mecánica. Universidad de Cantabria.. 39003 Santander (España)

El presente trabajo se centra en la obtención de capas de aleación base Cobalto (Tribaloy T-800) sobre un sustrato de acero inoxidable 18/8 (AISI 304) mediante la técnica de plaqueado láser. Tras los tratamientos, se caracterizaron las probetas mediante microscopía óptica y electrónica de barrido con microanálisis (EDS). La composición elemental del recubrimiento se determinó en un espectrómetro de emisión óptica con fuente de excitación (GDL). El estudio de la interfase reveló una perfecta adherencia entre el recubrimiento y el material base, sin defectos apreciables. La microestructura de las capas depositadas es dendrítica con un alto grado de refinamiento y una homogeneidad química a lo largo del cordón y con valores muy próximos a los del polvo de partida. En las zonas de solape entre cordones, se observó un crecimiento del grano debido al segundo tratamiento térmico recibido. La microdureza de las capas alcanza los 750 HV, valor considerablemente superior al del sustrato (200 HV). Asimismo, se obtuvo una mejora significativa de la resistencia a la corrosión del recubrimiento en medios salinos.

Palabras clave: Plaqueado láser, Microestructura, Aleaciones base Co

Microstructure and properties of tribaloy T-800 coatings deposited by laser cladding

The present work is based on obtaining Co based coatings (Tribaloy T-800) on plates of 18/8 stainless steel (AISI 304) by laser cladding technique. After the treatment, samples were characterized by optical and scanning electron microscopy with EDS analysis. The elemental composition of the coating was determined with a glow discharge lamp spectrometer (GDL). The study of the interface revealed a good adherence between the substrate and coating without substantial defects. For the laser clad coatings, the microstructure was dendritic with a high degree of refinement and chemical homogeneity close to the original powder. The grain coarsening was observed in the overlapping zones due to the second heat treatment. Microhardness of the coatings reached 750 HV, a considerably higher value than the substrate hardness (200 HV). Also, the coating corrosion resistance in saline solutions had a great improvement.

Keywords: Laser cladding, Microstructure, Co base alloys.

1. INTRODUCCIÓN

Entre las distintas aplicaciones de los láseres de potencia, el plaqueado se presenta como una valiosa herramienta para la obtención de recubrimientos resistentes a la corrosión y al desgaste. Las principales ventajas de esta técnica derivan de la gran versatilidad del haz láser que permite fundir distintos aleantes sobre un sustrato metálico produciendo capas con excelente adherencia, mínima dilución del material base y un aceptable acabado final. Por esta razón, se ha empleado en la reparación de equipos sometidos a desgaste y corrosión como álabes de turbina, moldes para inyección plástica o asientos de válvulas (1,2). Actualmente, la reparación de estos componentes es un mercado emergente para el plaqueado láser.

De los distintos materiales empleados en ambientes agresivos, destacan las aleaciones base cobalto por sus buenas propiedades físicas y su resistencia a la corrosión y al desgaste. La composición de estas aleaciones varía en función del área de aplicación de las mismas; siendo sus principales elementos aleantes el Cr, W y Mo, y en menor proporción presentan: C, Fe, Ni, Si y Mn, entre otros. En este trabajo, se estudia la microestructura y propiedades de capas protectoras de Tribaloy T-800 depositadas mediante plaqueado láser. Esta aleación pertenece a una familia de aleaciones base Co desarrollada por DuPont a principios de los setenta, en las que se añade Mo y Si en niveles que exceden su límite de solubilidad con el objetivo de inducir la precipitación de una fase dura y resistente a la corrosión, conocida como fase de Laves (3).

2. PARTE EXPERIMENTAL

El material base fue un acero inoxidable (AISI 304) con una composición según norma de 18%Cr y 8% en Ni, de dimensiones 50x25x10 mm³.

El plaqueado se realizó mediante un láser de CO₂ operando a 1800 W de potencia. La densidad de potencia sobre la pieza fue de 200 W/mm², la velocidad de barrido del haz de 240 mm/min y el caudal de alimentación de polvos osciló entre 10-15 g/min. La composición química de los polvos de Tribaloy suministrados por el fabricante se muestra en la tabla I, y se caracterizan por una forma de grano esférica y un tamaño de 45 µm.

TABLA I. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL POLVO DE TRIBALOY SUMINISTRADO

% masa	Co	Cr	Mo	Fe	Si	Ni	C
Composición original del polvo	bal.	17,5	28,5	1,5	3,4	1,5	0,08

Sobre la superficie del sustrato de acero se depositaron 10 cordones sucesivamente (con un 50 % de solape aproximadamente) de unos 2,5 mm de ancho y un espesor final de recubrimiento entre 1,7-2,0 mm. Las capas obtenidas se caracterizaron mediante microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido (SEM). El análisis de la composición elemental del recubrimiento obtenido por espectroscopía de dispersión de energías (EDS) se constató mediante un espectrómetro de emisión óptica con fuente de excitación (GDL).

La medida de la microdureza Vickers se realizó con una carga de 100 gramos en una sección perpendicular a la dirección del plaqueado, efectuándose un perfil vertical desde la superficie del recubrimiento hasta el acero base y un perfil horizontal a 1 mm de la superficie del plaqueado. La rugosidad superficial de las capas plaqueadas se midió con un rugosímetro.

En el estudio del comportamiento frente a la corrosión se realizaron curvas potenciodinámicas en tres medios agresivos: NaCl 0,06 M, NaCl 0,6 M y H₂SO₄ 1 M, estos ensayos se llevaron a cabo en una célula de corrosión convencional con tres electrodos. La superficie de la muestra, de 0,5 cm², actuó como electrodo de trabajo. Se utilizó un hilo de platino como contraelectrodo para asegurar una distribución homogénea de la corriente. Finalmente, los potenciales se refirieron a un electrodo de calomelanos saturado (ECS) estándar. Las muestras se sumergieron en la solución correspondiente y una vez estabilizado el potencial de corrosión, se les aplicó un barrido desde -500 mV /ECS en NaCl y desde -200 mV /ECS en H₂SO₄, con respecto al potencial en circuito abierto, en sentido anódico y hasta alcanzar una densidad de corriente superior 250 mA/cm².

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tras el tratamiento con láser, las muestras obtenidas presentan un aspecto superficial homogéneo, no apreciándose falta de adherencia del recubrimiento ni defectos superficiales a primera vista, fig. 1(a). La rugosidad superficial media de las capas de tribaloy fue de 9,7 µm en la dirección longitudinal al plaqueado y de 16,7 µm en la dirección transversal al mismo, precisando las piezas una ligera rectificación previa a su uso.

La observación microscópica del corte transversal de una de las probetas muestra una interfase continua entre el sustrato y la capa, sin imperfecciones y con una buena unión entre ambos, fig. 1(b). Asimismo, se aprecian claramente las zonas de solape de los cordones láser. Sin embargo, en algunas zonas, un análisis más detallado sí revela la presencia de grietas transversales al plaqueado, que van desde la superficie del recubrimiento al sustrato. Esto limitaría, fundamentalmente, su resistencia frente a la corrosión.

La microestructura del cordón es dendrítica tal y como puede apreciarse en la micrografía de la figura 2(a). El estudio mediante

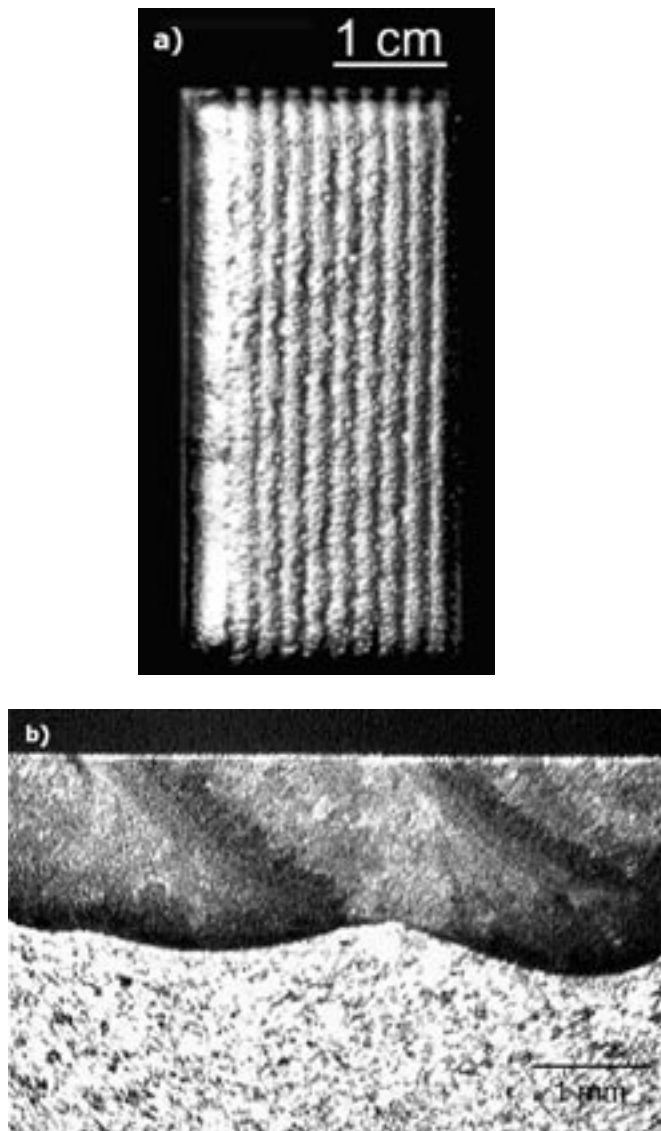


Fig.1. Macrográficas de la muestra: (a) Aspecto de la capa de tribaloy obtenida; (b) Sección transversal de una de las probetas.

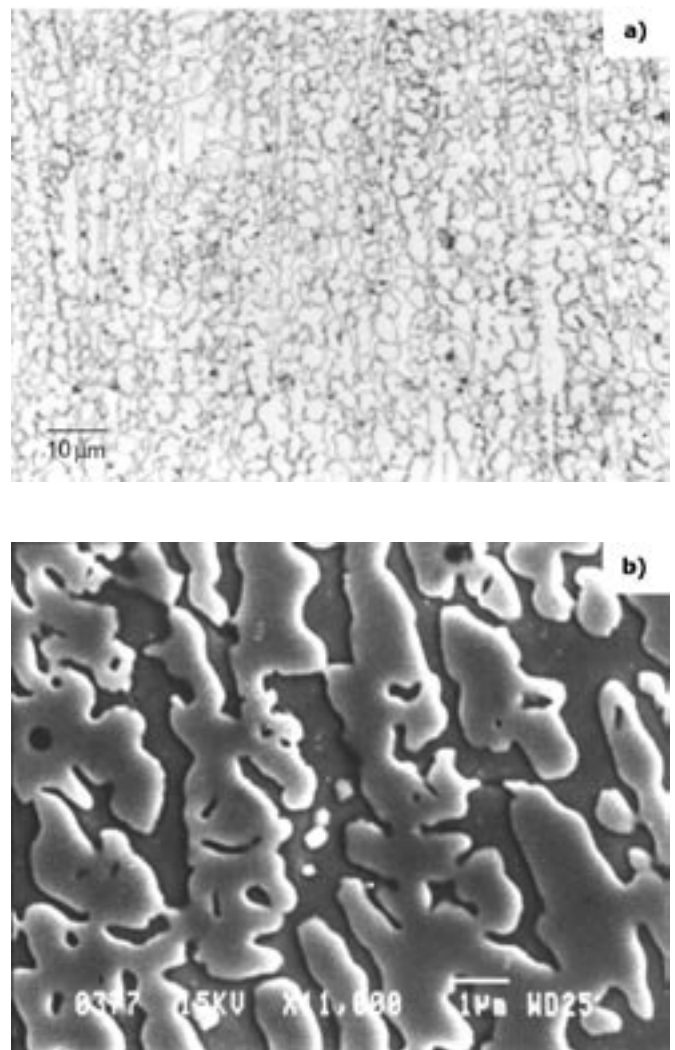


Fig. 2. Estructura del recubrimiento: (a) Microestructura dendrítica observada al microscopio óptico; (b) Fases de la estructura observadas mediante SEM en una zona intermedia de la capa.

microscopía electrónica de barrido (SEM), hace posible distinguir claramente la fase dendrítica y la interdendrítica, fig. 2(b), y advertir un afinamiento de la estructura en las zonas más superficiales del cordón. Esta evolución de la microestructura es debida a la variación de la velocidad de solidificación del recubrimiento durante el transcurso de la misma, siendo el gradiente de temperaturas mayor en la zona próxima al sustrato. Cabe destacar, que en las zonas de solape de dos cordones se produce un aumento del tamaño de las dendritas, debido a que las sucesivas pasadas del láser provocan un calentamiento que hace que disminuya la velocidad de solidificación de las mismas.

Los cambios en la composición química del plaqueado láser se investigaron basándose en los datos semicuantitativos obtenidos por EDS. Para ello, se realizó un perfil de composiciones desde la superficie de la capa hasta la interfase con el acero base, tabla II; observándose una composición homogénea en todo el espesor del recubrimiento. Estos resultados son similares a los análisis cuantitativos efectuados mediante GDL a una distancia de 35 μm de la superficie de la capa, como puede observarse en la misma tabla.

TABLA II. DATOS SEMICUANTITATIVOS DE EDS Y CUANTITATIVOS DE GDL DE LA COMPOSICIÓN DEL RECUBRIMIENTO

% masa	Co	Cr	Mo	Fe	Si	Ni	C
EDS Superficie	44,16	16,01	27,07	5,71	3,78	-	-
EDS Zona central	42,23	15,21	28,80	6,81	3,75	-	-
EDS Zona cercana al sustrato	44,06	13,67	30,05	5,43	3,70	-	-
GDL Superficie	42,50	17,90	27,30	6,60	3,40	1,10	-

Estos valores son, a su vez, muy próximos a la composición original del polvo suministrado por el proveedor (ver tabla I), lo que indica que el proceso de plaqueado se ha realizado con los parámetros adecuados que permiten controlar de manera apreciable el grado de dilución y no inducir cambios importantes en la composición química de partida. La difusión de Fe en el recubrimiento procedente del sustrato fue del 5 % en masa, este aumento en el contenido de Fe no va a influir ni en la microestructura de la capa ni en su unión con el material base.

El análisis de la composición de las dos fases dendríticas también se efectuó mediante EDS en cada punto del perfil señalado anteriormente, los datos para una zona intermedia del recubrimiento se muestran en la tabla III. Los porcentajes de C y Ni no se han podido determinar aceptablemente mediante EDS en ningún caso.

TABLA III. Datos semicuantitativos de EDS de la composición de ambas fases en una zona intermedia del cordón

% masa	Co	Cr	Mo	Fe	Si	Ni	C
Dendrítica	40,34	15,41	30,06	6,28	3,42	-	-
Zona interdendrítica	54,19	17,80	14,05	8,60	2,25	-	-

Del estudio de ambas fases se deduce que la zona dendrítica es más rica en molibdeno y silicio, mientras que la interdendrítica posee una mayor proporción de cobalto, hierro y cromo. De acuerdo con la bibliografía, la matriz es una solución sólida de cobalto fcc, y la fase dendrítica es un componente intermetálico duro y resistente a la corrosión conocido como fase de Laves (3,4). La formación de esta fase está provocada por la elevada cantidad de molibdeno y silicio que posee la aleación con respecto a otras aleaciones base cobalto. El bajo contenido en carbono del Triballoy 800 no favorece la precipitación de carburos del tipo M_7C_3 , como ocurre en otras aleaciones base cobalto (2).

En la figura 3 se representa la variación de la microdureza Vickers en función de la distancia desde la superficie del plaqueado en una sección perpendicular a la dirección del barrido. La capa de T-800 muestra una distribución de microdurezas uniforme en todo su espesor, alcanzando valores próximos a los 750 HV, este valor es considerablemente

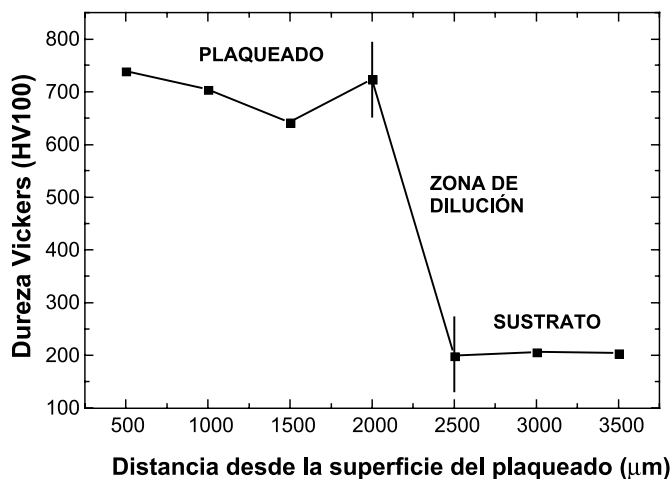


Fig. 3. Variación de la microdureza en función de la distancia desde la superficie de la capa.

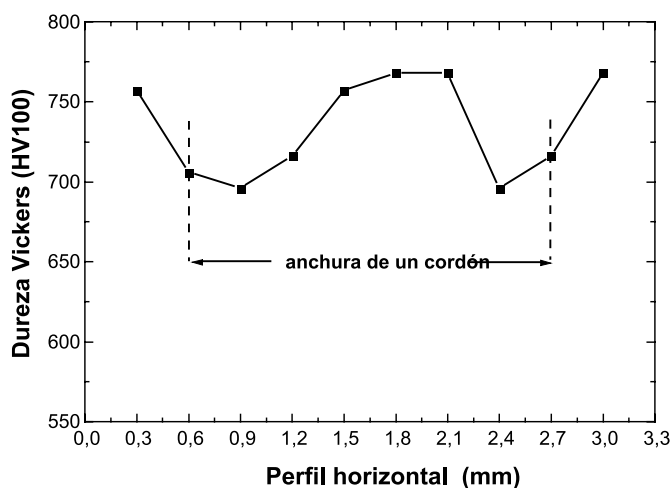


Fig. 4. Variación de la microdureza en un perfil horizontal a 1 mm de la superficie de la capa.

superior al del sustrato donde se han medido aproximadamente 200 HV. No obstante, en algunas áreas del recubrimiento se produce una disminución de la dureza, en torno al 10 %, que corresponde a las zonas de solape entre cordones, y que es debida al sustancial cambio microestructural en estas regiones. Esto se aprecia más claramente en el perfil horizontal de microdurezas de la figura 4, realizado a 1 mm de la superficie y a lo largo de varios cordones solapados.

Para investigar el comportamiento frente a la corrosión, se realizaron estudios electroquímicos de las muestras sumergiéndolas en tres medios agresivos: NaCl 0,06 M, NaCl 3,56 % y H_2SO_4 1 M. Los resultados de los ensayos de corrosión en forma de curvas potenciodinámicas de la capa de triballoy y del sustrato se representan en la figura 5. En la solución ácida, el plaqueado no mostró mejoras significativas frente a la corrosión en comparación con el material base. En cambio, en las soluciones salinas sí se aprecia una mejora del comportamiento del recubrimiento con tramos de pasivación más largos y una mayor resistencia a la corrosión por picadura que la del sustrato.

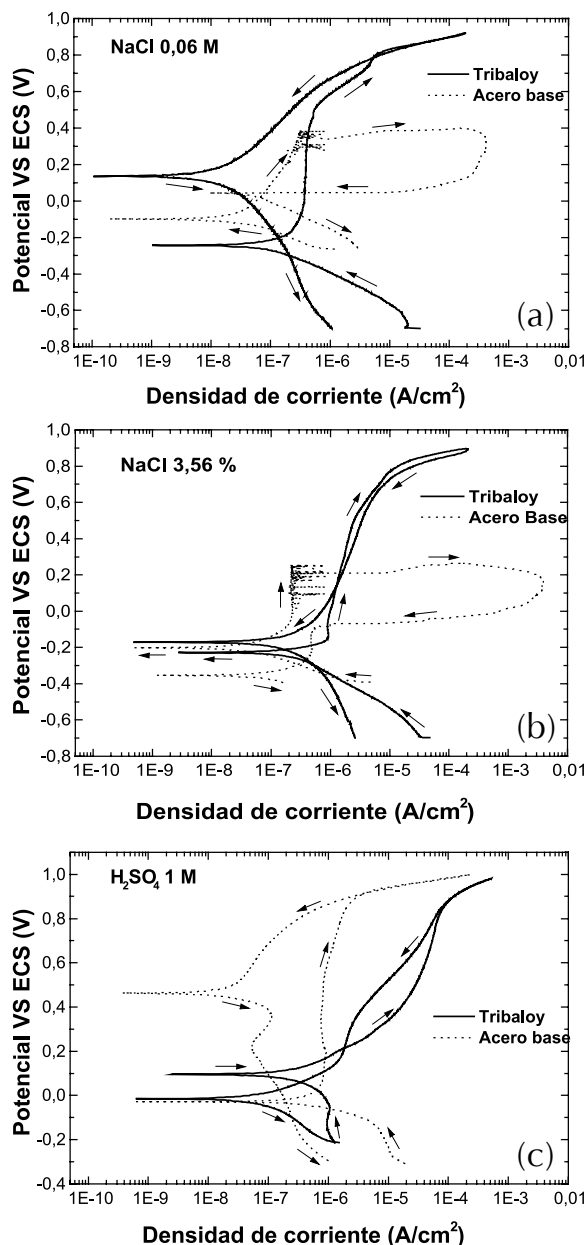


Fig. 5. Variación del potencial de corrosión electroquímico con respecto al electrodo de calomelanos saturado en función de la densidad de corriente para el sustrato y el recubrimiento en las soluciones: (a) NaCl 0,06 M, (b) NaCl 3,56 % y (c) H₂SO₄ 1 M.

CONCLUSIONES

Los parámetros de plaqueado láser empleados han permitido obtener capas de elevada calidad de Triballoy 800 sobre un sustrato de acero inoxidable AISI 304. Si bien los recubrimientos han presentado buenas propiedades, no se ha podido evitar la aparición de grietas durante su procesamiento. Esto indica, que es necesario continuar estudiando el efecto de las distintas variables del proceso en las propiedades del recubrimiento, con el fin de obtener los parámetros óptimos.

Los análisis realizados revelan una microestructura dendrítica en toda la sección transversal de la capa y la existencia de una buena unión metalúrgica entre plaqueado y sustrato. El recubrimiento se caracteriza por su elevada dureza debida al refinamiento de su microestructura, la supersaturación de sus fases por los elementos aleantes y la presencia de fase de Laves, la cual posee una elevada fragilidad y contribuye al aumento de la dureza y la resistencia a la corrosión. En el estudio del comportamiento del plaqueado frente a la corrosión, no se observan mejoras significativas frente a la misma en medio ácido, mientras que en soluciones salinas sí se aprecia una mayor resistencia del recubrimiento a la corrosión por picadura.

AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2000-2003, de referencia: **MAT2001-3528-C03-02** de título: *Optimización frente al desgaste y la corrosión de recubrimientos de NiCrBSi depositados por flame spray y láser.*

BIBLIOGRAFÍA

1. A.S. D'Oliveira, P.S. da Silva, R. Vilar, « Microstructural features of consecutive layers of Stellite 6 deposited by laser cladding », *Surface and Coatings Technology* 153 (2002), p. 203-209
2. J. de Damborenea, A. Conde, I. García, M. Cadenas, J. M. Cueto y E. Fernández, « Stellite protective coatings by laser cladding », paper 419, CD of 15th International Corrosion Congress, Granada (Spain), Sept. 2002
3. P. Crook, « Cobalt and cobalt alloys », *Metals Handbook*, ASM International, Vol. 2, 10th Edition, 1990, p. 446-454
4. J. Kusinski, J. Przybylowicz and A. Woldan, « Laser alloying and cladding of metallic substrates », *Proceedings of SPIE*, Vol. 4238 (2000), p. 101-114
5. J. Przybylowicz and J. Kusinski, « Laser cladding and erosive wear of Co-Mo-Cr-Si coatings », *Surface and Coatings Technology* 125 (2000), p. 13-18

Recibido: 1.2.03

Aceptado: 30.11.03